

コヒーレントウェーブ工学研究部門の目標と成果(研究活動)

雑誌名	東北大学電気通信研究所研究活動報告
巻	10
ページ	46-63
発行年	2004-08
URL	http://hdl.handle.net/10097/30438

3. 3 コヒーレントウェーブ工学研究部門の目標と成果

コヒーレントウェーブ工学研究部門は、バリアフリーな電気通信技術の構築を目標に、その根幹を成す電波、光波、超音波の広帯域にわたる発生、伝送、処理の研究を行うことを目的としている。具体的には、21世紀の高速・大容量通信時代に備えて、電波、光波による超大容量情報通信の研究開発、およびミリ波・サブミリ波の高度利用に関する技術を追求する。また、バリアフリーの無線通信を実現するために、高速・高効率信号処理技術に関わる研究、音響デバイスの研究、さらに良好な電磁環境の構築に関わる研究を行う。

本研究部門は、これらの研究目標を遂行するため、電磁波関連の研究を主とする1研究分野、光波関連の2研究分野、ワイヤレス通信、音響デバイス及び通信環境に関する各1研究分野、量子波デバイスの基盤研究を目指す1客員研究分野、さらに、超高密度・高速知能システム実験施設の1部によって構成される。平成15年度の研究活動の概要は分野毎に別途記すが、その概要は以下のとおりである

(1) テラヘルツ工学研究分野

(目標) 電波と光との中間に位置する短ミリ波ーテラヘルツ波領域の技術を開拓するために、検出器、発振器、計測システム等の研究・開発を行っている。

(成果) 短ミリ波伝搬の特長を活用した計測技術として、2種類のイメージング技術（カメラ及び近接場顕微鏡方式）について研究を進めている。カメラ方式に関しては、人体、外景、果物等に関してミリ波像の取得に成功し、これらが赤外像と異なる特徴を有していることからミリ波イメージングの有用性を明らかにした。顕微鏡方式に関しては、スリット形プローブに関して共振形プローブを開発して約1桁の感度向上を得、誘電体の定量的精密計測に対して有効な手段を与えた。

(2) 応用量子光学研究分野

(目標) レーザおよび非線形光学技術を用いて光波からミリ波に至るコヒーレント電磁波の発生・制御技術確立し「テラフォトンクス」分野の創成を目指す。また、独自の周波数シフト帰還型レーザの高機能化により地球環境光センシングネットワークを構築する。

(成果) 波長1-1000ミクロンの波長可変コヒーレント光がカバーできる領域の一層の拡大を図った。また、コヒーレントラマン分光により、固体周期構造中のフォノンや生体分子の低エネルギー分光の高感度化を実現した。また、周波数シフト帰還形レーザの高安定化に対する検討を進めた。

(3) 超高速光通信分野

(目標) 光・量子エレクトロニクスおよび光通信工学をもとにして、超高速光通信の基盤となる光パルス発生・伝送技術、ソリトン、短パルスレーザ、ならびに光信号処理の研究を行い、グローバルな超高速光ネットワークの構築を目指す。

(成果) 光ソリトン圧縮効果により40 GHz-100 fsの超短光パルス列の発生に成功した。さらに、光フーリエ変換を用いた無歪み伝送技術を提案しピコ秒パルスの波形歪み除去に成功した。また、モードホップを抑制した単一モードファイバレーザを作製し、その周波数をアセチレン分子に安定化することにより 5.0×10^{-12} の安定度を得た。

(4) フォノンデバイス工学研究分野

(目標) 強誘電体, 常誘電体, 圧電体材料など誘電材料一般の評価・開発及びそれらを用いた高機能通信デバイスや記憶素子の研究を行う。

(成果) 本年度は新たに開発したSNDMプローブメモリーの試作一号機により超高密度誘電体記録の実記録に成功しビットエラーレートの評価まで可能となった等, 高度な情報蓄積技術に対応するための誘電体デバイス開発に大きな展望を与えた。今後は超高密度誘電体プローブデータストレージの実現, 原子分解能走査型非線形誘電率顕微鏡の実現, 及びナノドメインエンジニアリングによる高度情報通信素子の開発を行う。

(5) 先端ワイヤレス通信技術研究分野

(目標) 世界中どこにいても, 高速にすべての情報を無線で手にいれることが可能となる「ユビキタス・ネットワーク」を実現する。

(成果) ブロードバンド無線通信の実現を目標にフレキシブルワイヤレスネットワークを提案しているが, 本年度は特に無線 LAN方式にて, シームレスに接続基地局の切り替え可能なレイヤ 2 転送技術や, 広帯域・高集積化・低消費電力動作を可能とする, デジタル・アナログ混載ワンチップモデム LSI の開発を行った。また, 端末の小型化を目指し, 異種材料デバイスを高周波帯までシームレスに接続できる三次元実装システムインパッケージ技術の研究開発を行った。

(6) 通信環境工学研究分野

(目標) 様々な電子機器から放射される不要電磁波の測定法を研究し国際規格化に務める。また, 不要電磁波の特性を解明し, 高速大容量無線通信に及ぼす影響を解明し, その対策を検討する。

(成果) 30 MHz~10 GHz帯電磁波の測定用アンテナに関する全く新しい校正法(アンテナインピーダンス法)の開発を行い, その確度に関する研究を行った。また, 電源線伝導妨害波に関する測定用プローブの開発や, 対策用フェライトコアの特性測定法の研究を行った。さらに, 電子レンジの漏洩電磁波に関する理論モデルを用いて, 電子レンジがBluetoothや無線LANに及ぼす影響について研究した。

(7) 量子波動光学研究分野

(目標) 従来の電子デバイス(特に半導体メモリ)の集積度の飛躍的な向上を目指し, トランジスタのドレイン構造の最適化と, 記憶蓄積方法の高性能化を進めると同時にデバイス解析方法を検討する。

(成果) ドレイン構造の最適化のためフォノンデバイス工学と共同でSNDMと電子線ホログラフィーを用いた評価方法を検討した。また, SNDMによりONO三層膜を電荷蓄積に用いた「MONOS型Flashメモリ」中の, 電子とホール of 視覚化に成功した。これによりONO膜中の電荷の局在位置を明らかにし, 記憶の書き込み-消去の, いわゆるサイクリング特性との関係を把握した。

(8) 超高密度・高速知能システム実験施設 超高速電子デバイス部

(目標) 電荷とスピンの両方を利用するスピントロニクス技術、半導体量子構造におけるテラヘルツ光発生、を中心に極微細波動基盤技術を構築する。

(成果) 強磁性半導体において電界による磁化方向の電氣的制御を初めて実現し、不揮発性メモリなどのデバイスを低消費電力化する可能性を持つ新しい磁化反転方法を開拓した。また、半導体中の電子や核のスピンコヒーレンス制御を実現し、量子情報処理への展開を進めている。加えてInAs量子カスケード構造でサブバンド間遷移レーザー(周波数30 THz)を低閾電流で発振させ、高性能化への端緒を得た。

テラヘルツ工学研究分野

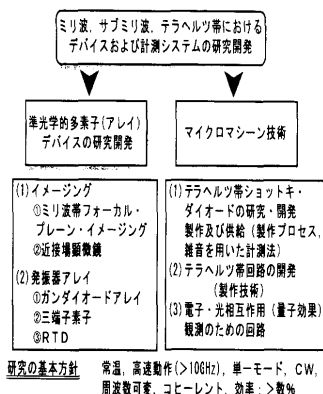
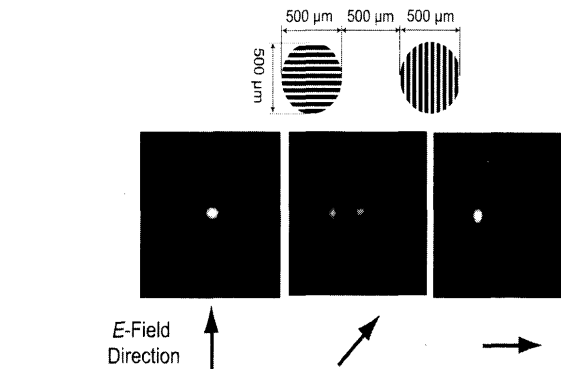
ミリ波，サブミリ波，テラヘルツ帯におけるデバイス
および計測システムの研究開発

図1 テラヘルツ工学研究分野のアウトライン

図2 ミリ波帯近接場顕微鏡による取得画像例
(上：対象の模式図、下：取得画像の電界方向に対する変化)

電磁波のスペクトラムのうち、ミリ波からテラヘルツ帯（波長ではサブミリ波帯）にわたる領域は、電波と光との境界に位置している。電波と光の両者が共に開発が進み、現在の情報化社会で重要な役割を担っているのに比べ、この領域、特にテラヘルツ帯の技術は、その実用化技術の開発が格段に遅れている。しかし、近年の情報通信インフラの整備推進に見られるように、将来の高度情報化社会に向けて周波数資源は益々その重要性を増してきている。また、生体、各種新機能材料の計測・評価、地球環境あるいはプラズマ計測等のテラヘルツ波を用いた計測の分野においても、この領域の技術開発が強く望まれている。本研究分野では、この領域において、実用的な検出器、発振器、計測システム等種々の技術を開発し、新しい電磁波スペクトラムを開拓するための研究を行っている。（図1）

以下に本年度の主な研究成果について述べる。

《ミリ波帯イメージング技術の研究》

1. フォーカル・プレーン・イメージング：パッシブ・モードのイメージングを行うために、これまで研究・開発を行ってきた光学系，アンテナ系，ミリ波低雑音増幅器，ミリ波検出回路等の各部分を総合し，1枚の石英基板上に35 GHz帯イメージング・アレイ素子を形成することに成功した。本素子を用いて2×2のアレイを組み上げ，機械的スキャンニングを併用して，Dicke型および全電力型でミリ波イメージングに成功し，常温物体の計測を行った。また，物体近傍でホーンアンテナを走査することにより，波長程度の分解能を有するパッシブ・イメージングにも成功した（フレネル・イメージングと呼んでいる）。生体、食品等に関するミリ波イメージングは、赤外像とは異なった特徴を持っており、今後各種の検査に応用可能であると考えている。

2. 近接場顕微鏡：通常のイメージング技術では，その分解能は，光学系の回折により制限され波長オーダーになる。一方，最近光領域にて活発な研究が行われている近接場顕微鏡では，その分解能はプローブの形状により決定され，波長よりも十分に小さくすることが可能である。我々は導波管端面のスリット構造を用いる新型プローブ（スリット型プローブ）を提案している。本プローブは，広帯域で高感度の

計測が可能、固定した偏波方向で物体を観測可能という特長を有している。本年度は、この偏波特性を測定するための画像再構成アルゴリズムを考察・構築し、その正当性を実験で確認した（図2）。さらに、より一層の高感度化を目指して、共振構造を有するスリット型プローブの設計、製作、特性評価を実施した。

《発振器アレイの研究》短ミリ波、サブミリ波、テラヘルツ帯の実用的技術を開発するに際して、コヒーレントな連続波出力で同調可能な発振器の開発は不可欠である。この領域の固体素子は、いずれも出力が小さく実用的なものからは程遠い。我々の提案による発振器アレイを用いたコヒーレントな電力合成の研究は、固体素子のこの欠点を克服するものである。本年度は、Wバンド帯導波管アレイを用いた電力合成器について、実用化に向けて詳細な特性を測定した。

《光と電子との相互作用に関する基礎研究》クライストロン等電子ビーム装置のCW動作の高周波限界は量子効果によって制限され、テラヘルツ帯にあるとされている。本研究は、この理論的な予想を実験によって検証するために計画されたもので、可視光と相互作用した電子ビームのエネルギーを精密に測定することを目的としている。本年度は、赤外領域（ $10.6\mu\text{m}$ ）における理論・実験の結果を用いて、2 eV のフォトンエネルギーを持つ光領域における実験を行うべく、装置の設計および予備実験を行った。

〈職員〉

教授 水野皓司（1984年より2004年まで）
 助教授 裴 鐘石（1992年より2003年まで）
 助教授 荻戸立夫（2000年より）
 助手 石川 亮（2001年より2003年まで）

〈水野皓司教授のプロフィール〉

昭38東北大・工・電子卒。昭43同大学院博士課程了。工博。東北大助手（昭43）、助教授（昭47）を経て、昭59教授（電気通信研究所）。昭47ロンドン大客員研究員、平成2カリフォルニア工科大、ロンドン大客員教授。平成2より平成10まで理化学研究所（フォトダイナミクス研究センター）チームリーダーを兼務。昭59科学計測振興会賞受賞、平成5 IEEEフェロー、平成10 K. J. Button賞受賞、平成15文科大臣賞（研究功績者）、電子情報通信学会フェロー。平成16年3月定年退官。

〈研究テーマ〉

1. ミリ波帯イメージング技術の研究
2. 発振器アレイの研究
3. 光と電子との相互作用に関する基礎研究
4. マイクロマシニング技術を用いたミリ波、サブミリ波帯素子の製作

〈主な研究発表〉

- [1] 荻戸立夫, 裴鐘石, 水野皓司, “高周波帯走査型近接場顕微鏡技術,” 日本赤外線学会誌, vol. 12, pp. 39-44, March 2003.
- [2] K. Watabe, K. Shimizu, M. Yoneyama, and K. Mizuno, “Millimeter-Wave Active Imaging Using Neural Networks for Signal Processing,” IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 51, no. 5, pp. 1512-1516, May 2003.
- [3] H. Park, C. C. Chang, B. H. Deng, C. W. Domier, A. J. H. Donne, K. Kawahata, C. Liang, X. P. Liang, H. J. Lu, N. C. Luhmann, Jr., A. Mase, A. Mazzucato, A. Miura, K. Mizuno, T. Munsat, Y. Nagayama, M. J. van de Pol, J. Wang, Z. G. Xia, and W-K. Zhang, “Recent Advancements in Microwave Imaging Plasma Diagnostics,” Rev. Sci. Instrum., vol. 74, no. 10, pp. 4239-4262, October 2003.
- [4] A. Kishigami, M. Itoh, T. Nozokido, H. Minamide, Y. Tsukahara, and K. Mizuno, “Difference Spectra Measurement of Squid Rhodopsin in the Submillimeter Wave Region,” Photochem. Photobiol. Sci., vol. 2, pp. 1303-1306, December 2003.

応用量子光学研究分野

多次元高機能コヒーレント光源の創出と その応用に関する研究

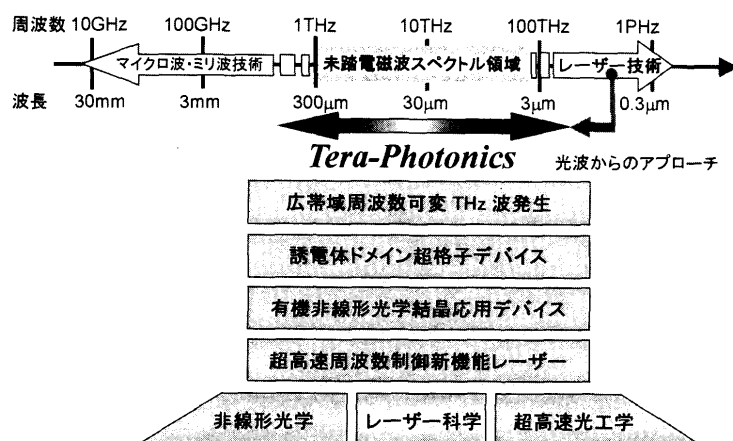


図1 レーザー制御技術による未踏周波数領域の開拓

応用量子光学研究分野では、強誘電体、半導体、有機の各種非線形光学材料に対するミクロナ構造制御や、レーザー発振動作に対する高度な時間的空間的制御により、光波からテラヘルツ波に至る広範なコヒーレント波の発生を行うとともに、その検出・制御までの一貫した研究を推進しており、その知見と成果に基づいた新たな科学技術分野であるテラフォトンクス確立と体系化を目指している。

《生体関連物質・固体フォノンのコヒーレントラマン分光》

生体分子のTHz帯振動モードは分子のコンホメーションや分子間相互作用等に関連し、生命科学や医学等の研究における重要性が指摘されつつある。そこで、水を含む生体分子の低周波振動スペクトルを高感度に捉えるため、近赤外光パラメトリック発振器を用いたコヒーレント反ストークスラマン分光（CARS）の研究を進めている。このシステムを液体試料の偏光依存型CARS測定に応用し、非共鳴バックグラウンドを低減し、コントラストの高いピーク検出に成功した。また、周期的な物質・構造中にあるフォノンの特異な振舞いは非常に興味深く、新しい応用展開が期待されている。本CARSシステムを強誘電体超格子構造におけるTHz帯振動の分光測定に応用し、周期に依存した共鳴周波数をもつ特異な光学フォノンをCARSにより初めて見出した。

《誘電体ドメイン制御非線形光学》

周期ドメイン反転誘電体結晶を用いた擬似位相整合法は、高効率な波長変換が可能な第二世代非線形光学デバイスへのキーテクノロジーとして急速に技術革新が進んでいる。我々は、世界に先駆けてドメイン制御非線形光学デバイスの研究を行っており、これまでにLiNbO₃、MgO:LiNbO₃、LiTaO₃等の強誘電体結晶においてデュエティー比が1:1に制御されたドメイン周期構造の作製法を確立し、高効率で広帯域な非線形光波長変換を実現している。結晶厚が1~2mmの強誘電体結晶に対して周期分

極反転に成功し、世界最高クラスの高出力（6.6mJ）を実現した。また、OPO-DFGデバイスを単一結晶上に作製し、高効率な波長可変中赤外光発生に成功した。また、周期分極反転LiNbO₃結晶を用いた表面放射型差周波混合を実現し、連続コヒーレントテラヘルツ波発生を確認した。

《有機非線形結晶DASTの育成・加工と非線形光学応用》

有機非線形光学結晶DASTは高い非線形光学係数と電気光学定数を有し、高効率な高周波発生・検出デバイスの実現が可能である。まず導電率測定に基づく最適育成プロセス技術を開発し、大型で高品質なDAST結晶を再現性よく得ることに成功した。また、有機結晶に対して光学レベルの使用に耐えうる高精度な表面処理や加工を行うことは従来に困難であったが、新たに精密加工機を共同開発して高品質な加工・処理技術を開発し、ナノスケールの平坦度をもつ結晶加工を実現した。また、第二高調波発生による結晶評価システムを構築した。さらに差周波混合によるTHz波発生に成功し、1-15THzまでの広帯域なTHz波発生を確認した。

《周波数シフト帰還型レーザー》

周波数シフト帰還型（FSF）レーザーは、共振器内に挿入した音響光学素子により光波の周波数をシフトさせてレーザー媒質に帰還させるタイプのレーザーであり、我々が独自に開発・動作機構の解明を進めてきた。この超高速に周波数チャープするFSFレーザーを周波数ドメインの光距離計測に応用すれば非常に高い距離計測精度とワイドなダイナミックレンジを同時に達成できる。モードロックFSFファイバーレーザーでは光学長150kmの光ファイバーを分解能40mmで測定することに成功した。さらに高速光通信伝送網で問題となる通信用光ファイバーの偏波モード分散（PMD）計測、大気屈折率変化を利用した地球温暖化現象の計測、遠隔圧力センサと組み合わせた津波計測ネットワーク等の応用を行い、情報通信、環境計測、自然災害計測において有力なツールとなりうることを示した。またFSFレーザーのコヒーレンシーを応用し、信号多重伝送の可能性を示した。

職員

教授 伊藤 弘昌（1993/1～）
 教授（兼任）横山 弘之（2003/4～）
 助教授 四方 潤一（2003/4～）
 助手 水津 光司
 技官 今野 勇治，田久 長一
 秘書 長岡亜紀子，大谷 陽子

伊藤弘昌教授のプロフィール

1966年東北大学工学部通信工学科卒，1972年同大学院工学研究科電子工学専攻博士課程修了。工学博士。同大学電気通信研究所助手，助教授を経て1993年より教授。2001～2002年度同大学未来科学技術センター（NICHe）教授，センター長。2003年度同大研究推進・知的財産本部知的財産部長を兼務。この間，1975～1976年に日本学術振興会派遣によるスタンフォード大学客員研究員。1998年より理化学研究所フォトダイナミクス研究センターのチームリーダーを兼務。レーザーおよび非線形光学とその応用研究に従事。1971年米澤記念学術奨励賞，1989年，2003年電子情報通信学会論文賞，2000年レーザー学会論文賞など各受賞。電気情報通信学会ES会長，レーザー学会東北・北海道支部長，応用物理学会東北支部長，同評議員，日本光学会，IEEE各会員。OSA Fellow，電子情報通信学会フェロー。東北大学学友会陸上競技部部長。

主な発表論文（2003年度）

1. Shoji Kakio, Nianyu Zou, Michihide Kitamura, Hiromasa Ito, and Yasuhiko Nakagawa, “An Integrated Acousto-Optic Frequency Shifter Driven by Surface Acoustic Wave for 1.55 μ m Optical Wavelength”, Jpn. J. Appl. Phys., Part.1, Vol.42, No.5B, pp.3063-3066 (May 2003).
2. S. Haidar, E. Niwa, K. Masumoto, and H. Ito, “Temperature tuning of 5-12 μ m by difference frequency mixing of OPO outputs in a AgGaS₂ crystal”, Journal of Physics D: Applied Physics, 36 (2003), pp.1071-1074.
3. Kazuhiro Imai, Kodo Kawase, Hiroaki Minamide, and Hiromasa Ito, “A rapidly tunable terahertz-wave parametric oscillator”, Electronics and Communications in Japan, Part 2, Vol.86, No.4, pp.18-26 (2003).
4. Y. Watanabe, K. Kawase, T. Ikari, H. Ito, Y. Ishikawa and H. Minamide, “Component spatial pattern analysis of chemicals using terahertz spectroscopic imaging”, Applied Physics Letters, vol. 83, no. 4, pp. 800-802 (2003).
5. Yuuki Watanabe, Kodo Kawase, Tomofumi Ikari, Hiromasa Ito, Youichi Ishikawa, Hiroaki Minamide, “Spatial Pattern Separation of Chemicals and Frequency-Independent Components by Terahertz Spectroscopic Imaging”, Applied Optics, Volume 42, Issue 28, 5744-5748 (October 2003).
6. S. Haidar, Y. Sasaki, E. Niwa, K. Masamoto and H. ITO, “Electro-optic tuning of a periodically poled LiNbO₃ optical parametric oscillator and mixing its output waves to generate mid-IR tunable from 9.4 to 10.5 μ m”, Optics Communications, Vol 229, pp 325-330 (Jan. 2004).
7. 垣尾 省司, 北村 通英, 中川 恭彦, 鄒 念育, 原 武文, 伊藤 弘昌, 飯塚孝, 小林 哲也, 渡辺 正行, “弾性表面波を用いた導波路型光周波数シフタと周波数シフト帰還型ファイバレーザへの応用”, 電子情報通信学会論文誌 C, Vol. J86-C, No. 12, pp. 1263-1271 (Dec. 2003).
8. Frank V. Kowalski, Cheikh Ndiaye, Koichiro Nakamura, Hiromasa Ito, “Noise waveforms generated by frequency shifted feedback lasers: application to multiple access communications”, Optics Communications 231 (2004) pp. 149-164.

超高速光通信研究分野

超短光パルスの発生と次世代超高速光通信技術
に関する研究

<分野の目標>

インターネットや携帯で扱われる情報が単なるデータから音声、静止画、動画と多彩になり、また利用者が広がるにつれ、快適なコミュニケーション環境を提供する大容量・超高速ネットワークの実現が大変重要になってきている。超高速光通信技術はそのネットワークを支える中核技術である。本研究分野では、光・量子エレクトロニクスをもとにして、超高速光通信の基盤となる超短光パルス発生・伝送技術、ソリトンを中心とする非線形波動技術、超高速レーザ技術、光信号処理技術の研究を行い、21世紀のグローバルな超高速光ネットワークの構築を目指している。

<主な成果>

(1) 超短光パルス発生技術に関する研究

本研究分野では、次世代の超高速光通信光源として10~40 GHz帯フェムト秒光パルス列の発生技術に関する研究を進めている。本年度は、我々がこれまでに開発したモード同期ファイバレーザと分散値が長手方向に徐々に減少する分散減少ファイバ中の光ソリトン圧縮技術を用いることにより、40 GHzフェムト秒パルス列の発生に世界で初めて成功した。まず、繰り返し周波数を40 GHzに高速化すると発振縦モードのパワーが増大することにより誘導ブリルアン散乱（SBS: Stimulated Brillouin Scattering）の発生が問題となることを見出した。実際に分散減少ファイバからの後方散乱光を観測し、SBSの発生によりパルス圧縮特性が大きく劣化することを示した。そこで光源に周波数変調を加え発振縦モードの線幅を増大させることによりSBSの抑制を図った。その結果、パルス幅100 fsの高品質な超短パルスを生成することに成功した。他のパルス圧縮技術とは違い、本方法によって得られるフェムト秒パルスはペデスタルの小さい理想的なフーリエ変換限界パルスであり、超高速OTDM伝送の信号源として最適である。

(2) 超高速無歪み光伝送技術に関する研究

40 Gbit/s以上の超高速光通信においては、光パルスの幅が数ピコ秒程度と短いものとなる。このため光ファイバ伝送路の各種分散効果による波形歪みが伝送性能を制限する大きな要因となる。そこで本年度は新たな光伝送技術として、伝送路の分散によってパルス時間波形に歪みが生じてても、そのスペクトルを時間領域にフーリエ変換することにより、完全に無歪みな伝送を実現する手法を提案し、光フーリエ伝送法と名付けた。時間領域光フーリエ変換回路は光位相変調器と群速度分散をもつ短尺な光ファイバを組み合わせ実現し、無歪み伝送の実証実験を行なった。その結果、大きな三次分散をもつ200 kmの光ファイバ伝送路においてパルス幅2.5 psの超短パルスを波形歪み無く伝送させることに初めて成功した。

(3) 周波数安定化ファイバレーザに関する研究

光の位相を利用したコヒーレント通信や高感度な光測定技術には周波数を安定化

した光源が不可欠である。本研究分野では単一モードファイバレーザの発振周波数をアセチレン分子 (C_2H_2) の吸収線に安定化することにより、狭線幅かつ超高安定なファイバレーザの開発に取り組んでいる。本年度はまずファイバグレーティングの中心周波数をPZT素子で掃引する発振周波数に同調させることによりモードホップを抑制し、連続掃引可能な周波数範囲を2 GHz以上に拡大することに成功した。次に本ファイバレーザを用いてアセチレン分子の線形吸収特性を測定し、傾きが0.71 mV/MHzの高SNな一次微分信号を観測した。さらに得られた微分曲線を用いて発振周波数をアセチレン分子吸収線に安定化することに成功した。その結果、積分時間が1秒のとき 1.3×10^{-10} (周波数変動量26 kHz), 積分時間が1000秒のとき 5.0×10^{-12} (1.0 kHz) の高い安定度 (アラン分散) が得られた。

(4) フォトニック結晶ファイバに関する研究

フォトニック結晶ファイバ (PCF: Photonic Crystal Fiber) は断面内に空孔を周期的に配置した光ファイバである。空孔の大きさや配置を適切に設定することによって、従来のファイバでは得られない数々の興味深い光学特性を実現することができる。本研究分野では、PCFの開発やその光通信への応用に関しても精力的に研究を進めている。本年度はPCFと従来ファイバの接続特性、特に接続面においてクラッド部の屈折率の差から生じる巨大フレネル反射とその低減に関して重要な知見を得た。まず融着接続時の放電時間および強度を調整することによりフレネル反射を最小にする接続条件を明らかにした。この最適接続時における接続点付近のPCFの断面構造をSEMにより詳細に観測した結果、フレネル反射の低減にはPCFの空孔形状のテーパ構造に最適状態が存在することを見出した。最適接続時における接続損失は0.5 dB程度で、フレネル反射光強度はレイリー散乱のレベル (-70 dB) まで抑制することに成功した。

さらに本年度は、ビーム伝搬法を用いてPCFの伝送特性に関する詳細な解析を行った。まず、PCFの基本モードの形状を最小2乗近似により詳細に評価し、空孔比率が大きいときは従来ファイバと同様モード分布はガウス関数で近似できるのに対し、空孔比率が小さいときはモード分布はSech関数で近似できることを明らかにした。さらに、PCFの分散特性に関する新たな最適設計手法を提案し、本手法により850 nm帯において零分散かつ分散フラットなPCFの構造パラメータを明らかにした。

<教員>

教 授 中沢正隆 (2001年より)
助 手 吉田真人
助 手 廣岡俊彦

<教授のプロフィール>

1952年山梨県生まれ。1980年東京工業大学大学院総合理工学研究科博士課程修了 (工学博士)。同年日本電信電話公社入社、茨城電気通信研究所。光ファイバ中の非線形光学効果、ソリトン通信、フェムト秒パルスレーザ、光ファイバ増幅器の研究に従事。1984～1985年MIT客員研究員。1989年グループリーダー、1994～1998年特別研究員、1999～2001年NTT R&Dフェロー、1999～2000年東北大学電気通信研究所客員教授。2001年4月より東北大学電気通信研究所教授。1989年11月OITDA桜井健二郎記念賞、1990年10月英国IEE, Electronics Letters Premium Award, 1997年4月科学技術庁長官賞 (研究功績者賞), 2002年電子情報通信学会猪瀬賞, IEEE Daniel E. Noble Award, 科学技術振興事業団井上賞, 服部報公会報公賞など受賞。IEEE, OSAおよび電子情報通信学会フェロー。

＜研究テーマ＞

1. 超高速光ソリトン伝送および非線形光学効果に関する研究
2. フェムト秒光パルスを用いた光時分割多重超高速伝送に関する研究
3. 超短パルスモード同期レーザと周波数標準・光マイクロ波領域への応用
4. フォトニック結晶ファイバならびに新機能性光ファイバの研究と新たな光通信の開拓

＜2003年度発表論文＞

- [1] 中沢正隆, “モード同期ファイバレーザを用いた高安定周波数標準,” レーザ研究, vol. 31, no. 7, pp. 443-449, July (2003).
- [2] M. J. Ablowitz, A. Docherty, and T. Hirooka, “Incomplete collisions in strongly dispersion managed return-to-zero communication systems,” Optics Letters, vol. 28, no. 14, pp. 1191-1193, July (2003).
- [3] M. Nakazawa, “Ultrahigh speed optical transmission using femtosecond pulses and emerging new technology,” Europe-U.S.-Japan Symposium on Ultrafast Photonic Technology, Chiba, Japan, July 15 (2003).
- [4] 中沢正隆, “超高速OTDM伝送技術,” 電子情報通信学会誌, vol. 86, no. 8, pp. 588-593, August (2003).
- [5] 吉田真人, 亀卦川学, 西村直也, 中沢正隆, “フォトニック結晶ファイバと従来ファイバの接続における巨大フレネル反射の観測とその低減方法,” 電子情報通信学会論文誌, vol. J86-C, no. 9, pp. 1007-1016, September (2003).
- [6] M. Nakazawa, T. Hirooka, F. Futami, and S. Watanabe, “Ideal distortion-free transmission using optical Fourier transformation and transform-limited ultrashort pulses,” European Conference on Optical Communication (ECOC 2003), Post-deadline paper, Th4.3.8, Rimini, Italy, September 21-25 (2003).
- [7] 崔森悦, 吉田真人, 中沢正隆, “光ヘテロダイン検波法による10 GHzピコ秒高調波モード同期エルビウムファイバレーザの縦モード線幅の測定,” 電子情報通信学会論文誌, vol. J86-C, no. 10, pp. 1054-1062, October (2003).
- [8] 中沢正隆, “フォトニック結晶ファイバーと超短パルス,” 光学, vol. 32, no. 10, pp. 606-612, October (2003).
- [9] M. Nakazawa, “Ultrafast optical pulses and solitons for advanced communications,” Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO/Pacific Rim 2003), Invited paper, TU3G-6-1, Taipei, Taiwan, December 15-19 (2003).
- [10] T. Hirooka and M. Nakazawa, “Parabolic pulse generation by use of a dispersion-decreasing fiber with normal group-velocity dispersion,” Optics Letters, vol. 29, no. 5, pp. 498-500, March (2004).

フォノンデバイス工学研究分野

強誘電体，圧電体材料などの評価・開発とそれを用いた 高機能信号処理及び超高密度記憶素子の研究

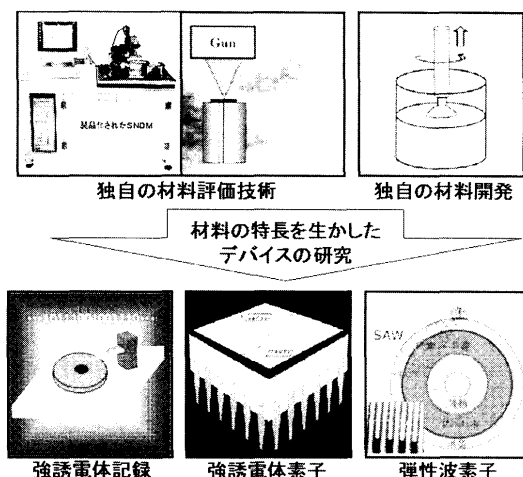


図1. フォノンデバイス工学研究分野の目標

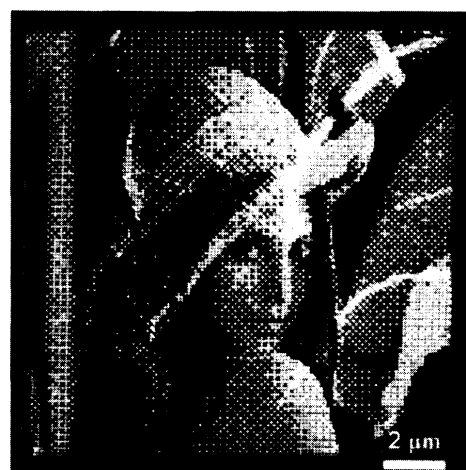


図2. LiTaO₃単結晶に256×256ビットの微小分極反転
ドットを書き込んだ例
(ビット間距離50nm, 記録密度 258 Gbit/inch²)

1.分野の目標

本研究室では，強誘電体や圧電体などの機能性材料を評価・作製する独自技術の開発と，それらを通して明らかとなった材料の特長を生かした通信用誘電・圧電デバイス・誘電体記憶デバイスの研究を行っている。

具体的には，超音波や光及びFe-RAM等に多用され近年その発展がめざましい強誘電体単結晶や薄膜の分極分布や，様々な結晶の局所的異方性が高速かつ高分解能に観測できる非線形誘電率顕微鏡(SNDM)を開発している。この顕微鏡は残留分極分布の計測や結晶性の評価が純電氣的に行える世界で初めての装置であり，既に実用化に成功している。また，SNDMは原子スケールの分解能が期待できるため，固体中の単一双極子モーメントの可視化とその物理について研究している。更に，SNDMは純電氣的に単純にナノサイズドメインを観測できるため，評価装置としてのみならず，強誘電体記録の読み込み書き込みピックアップとしても使用可能であり，強誘電体のドメインがナノサイズまたはそれ以下でも存在することから，将来の超高密度誘電体記録に大きな可能性を持っていると考え，SNDMを用いた高密度記録の研究を推進している。

<研究テーマ>

1. 超高分解能（原子分解能を持つ）走査型非線形誘電率顕微鏡の開発
2. 非線形誘電率顕微鏡を用いた超高密度誘電体記録の研究
3. ナノドメインエンジニアリングを用いた強誘電体機能素子の研究
4. 非線形誘電率顕微鏡を用いた強誘電材料・圧電材料の評価法の研究
5. 半導体デバイスにおけるHigh-k材料の評価及びドーパントプロファイル計測の研究

2. 過去1年間の主な成果

走査型非線形誘電率顕微鏡（SNDM）を用いた高密度強誘電体記録の研究において、薄片化したLiTaO₃単結晶を記録媒体として用いビット誤り率の評価を行った。ナノスケールでドメインを制御することによって、ビット間距離50 nm（記録密度258 Gbit/inch²）で256×256ビットのデータを記録し（図2参照）評価を行ったところ、最適化していない現段階でビット誤り率は 1.2×10^{-3} であった。今後最適化を図ることで、誤り率は実用レベルまで向上すると考えられる。

3. 職員名

教授 長 康雄（2001年より）
 助手 小田川裕之
 助手 森田 剛
 技 官 我妻 康夫
 技術補佐員 小田川 望

4. 教授のプロフィール

[略歴]

昭和60年4月 東北大学電気通信研究所助手
 平成2年3月 山口大学工学部助教授
 平成9年10月 東北大学電気通信研究所助教授
 平成13年7月 同 教授
 （平成7年4月～平成8年4月 米国ミシシッピ大学国立物理音響研究所客員研究員）

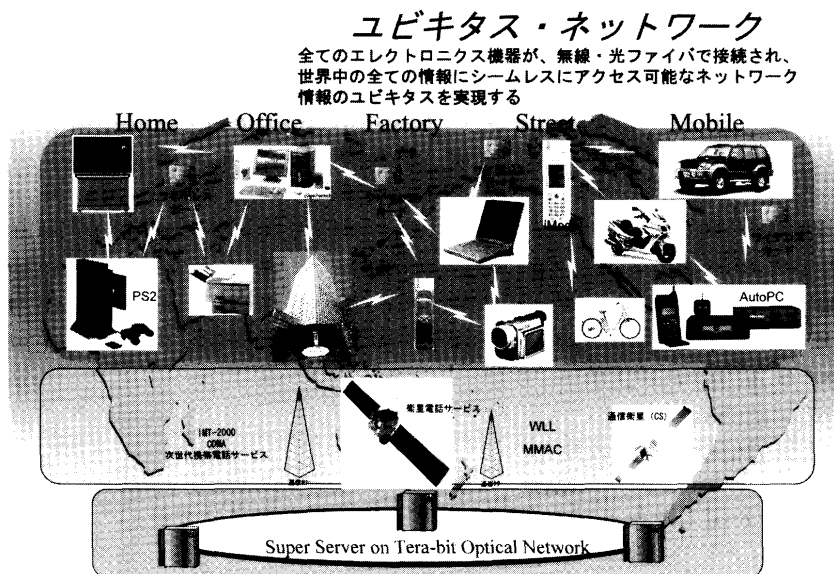
[主な研究テーマ]

- ・ 非線形弾性・圧電・電歪・誘電定数の高精度計法とその高機能デバイスへの応用の研究
- ・ 走査型非線形誘電率顕微鏡(SNDM)の研究開発
- ・ 次世代超高密度強誘電体記録の研究開発

5. 過去1年間の主な発表論文

- [1] Yasuo Cho, “Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy: Overview -A High Resolution Tool for Observing Ferroelectric Domains and Nano-domain Engineering-”, Journal of the Korean Ceramic Society, Vol.40, No.11 (2003) pp.1047-1057.
- [2] Kenjiro Fujimoto and Yasuo Cho, “High-speed switching of nanoscale ferroelectric domains in congruent single-crystal LiTaO₃”, Appl. Phys. Lett., Vol.83, No.25 (2003) pp.5265-5267.
- [3] Takeshi Morita and Yasuo Cho, “Observation of Antiparallel Polarization Reversal Using a Scanning Nonlinear Dielectric Microscope”, Jpn. J. Appl. Phys. Vol.42, No.9B(2003)pp.6214-6217.
- [4] Yoshiomi Hiranaga, Yasuo Cho, Kenjiro Fujimoto, Yasuo Wagatsuma and Atsushi Onoe, “Ultrahigh-Density Ferroelectric Data Storage Using Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy”, Jpn. J. Appl. Phys. Vol.42, No.9B(2003)pp.6050-6054.
- [5] 北村健二, 寺部一弥, 長 康雄, “強誘電ナノ・ドメイン・エンジニアリング”, 機能材料, Vol.23, No.10 10月号, pp.46-54(October, 2003)
- [6] 長 康雄: “非線形誘電率顕微鏡の開発と電子材料への展開”, セラミックス, 第38巻, 第10号 (October, 2003)
- [7] H.Odagawa and Y.Cho, “Three Dimensional Polarization Direction Measurement Using Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy with Rotating Electric Field”, Journal of Korean Physical Society, 42 (2003) S1169-1173.
- [8] K. Matsuura Y. Cho and R. Ramesh, “Observation of domain walls in PbZr_{0.2}Ti_{0.8}O₃ thin film using scanning nonlinear dielectric microscopy”, Appl. Phys. Lett., Vol.83, No. 13 (2003) pp.2650-2652.
- [9] Y Cho, K Fujimoto, Y Hiranaga, Y Wagatsuma, A Onoe, K Terabe and K Kitamura, “Terabit inch-2 ferroelectric data storage using scanning nonlinear dielectric microscopy nanodomain engineering system”, Nanotechnology, Vol.14 (2003) 637-642.

先端ワイヤレス通信技術研究分野

システムトップダウン設計による
ユビキタスネットワークの実現

<分野の目標>

21 世紀のワイヤレスマルチメディア社会を支えるユビキタスネットワークの実現に向けて、システムトップダウン設計をコンセプトとして研究を行っている。特に、無線通信ネットワークプロトコル開発、SS-CDMA (Spread-Spectrum Code-Division Multiple-Access: スペクトラム拡散・符号分割多元接続) 技術を核とした無線通信技術開発、デジタル・アナログ混載 LSI 設計・開発、GHz 帯弾性表面波デバイス開発、3 次元実装技術開発など、ネットワークからデバイス・物性まで、一貫した研究活動を行っている。以下、本年度の成果のうち、主なものについてまとめる。

<過去 1 年間の主な成果>

1. フレキシブルワイヤレスネットワーク

ユビキタス・ネットワーク実現に不可欠な、コンシューマ向け無線通信ネットワークの提案・開発を行った。特に、セル内アクセス通信下り回線で用いているパケット SS-CDMA 方式における周波数偏差・初期位相偏差補償回路の検討を行った。また、無線 LAN 規格 IEEE802.11b 方式において、2 送受信系を用いた無瞬断ハンドオーバ方式を提案した。

2. 電流モードアナログ信号処理 SI (Switched Current) 回路 LSI

電流モードアナログ信号処理 SI 回路を用いた、低消費電力 OFDM(Orthogonal-Frequency-Division Multiplexing) 通信用高速フーリエ変換 (FFT) 回路の提案を行った。特に、周辺回路である電圧電流変換回路、シリアルパラレル変換回路 LSI を設計・開発した。

3. 超小型デジタルワンチップ送受信回路 LSI

送受信器をデジタル回路のみで実現できる 150 μ m 角超小型通信モジュールLSIを設計・試作を行った。特に、周波数偏差がある送受信器間の通信を可能とするためのパケット構成・送受信回路の検討を行い、双方向通信を実現した。

4. シームレス 3 次元実装 SiP (System in a Package) 技術

異種材料デバイスを 3 次元実装することにより、高周波帯でもシームレスに実装可能であることを提案した。特に 60GHz 帯までの信号を多層配線樹脂基板上で伝送するための線路設計手法についての検討を行った。

5. MOCVD 法による AlN 薄膜を用いた弾性表面波 (SAW) および薄膜バルク波共振器 (FBAR) フィルタ

無線 LAN 帯域である 2.4GHz 帯および 5GHz 帯用の RF フロントエンドフィルタの高性能化を目指し、SAW および FBAR フィルタの設計・試作を行った。

<職員>

教授 坪内 和夫 (1993 年より)
 助手 中瀬 博之
 助手 亀田 卓
 産学官連携研究員 金 成権

<坪内和夫教授のプロフィール>

昭和 49 年 3 月名古屋大学大学院工学研究科電子工学専攻博士課程修了。工学博士。昭和 49 年 4 月東北大学電気通信研究所助手。昭和 57 年 4 月～10 月米国パーデュー大学客員助教授。昭和 58 年 3 月助教授。平成 5 年 3 月教授。昭和 58 年服部報公賞，平成 6 年第 26 回市村学術賞貢献賞，平成 8 年第 11 回電気通信普及財団賞（テレコムシステム技術賞），平成 9 年第 22 回井上春成賞，平成 15 年東北総合通信局長「電波の日」表彰受賞。日本物理学会，応用物理学会，電気学会，電子情報通信学会，IEEE 会員。日本エレクトロニクス実装学会理事。

<主な研究発表>

- [1] S. Saigusa, S.-K. Kim, H. Nakase, S. Kameda, and K. Tsubouchi, "Switched-current analog programmable filter for software-defined radio," Jpn. J. Appl. Phys., vol.42, part 1, no. 4B, pp.2185-2189, April 2003.
- [2] H. Nakase, T. Sagitani, K. Masu, and K. Tsubouchi, "Lower boundary of supply voltage in digital ULSI based on the communication theory," Jpn. J. Appl. Phys., vol.42, part 2, no. 10A, pp.L1133-L1135, Oct. 2003.
- [3] 亀田 卓, 小林 宏樹, 金 成権, 中瀬 博之, 坪内 和夫, "2段階開ループ型送信電力制御を用いた近似同期 CDMA モデム," 信学論, vol. J86-A, no. 12, pp. 1356-1364, Dec. 2003.
- [4] Y. Sakai, H. Nakase, Y. Isota, and K. Tsubouchi, "All digital one-chip wireless modem LSI with acquisition circuit," Extended abst. of 2003 Int. Conf. Solid State Devices and Materials (SSDM2003), pp. 410-411, Sept. 2003.
- [5] T. Yamada, H. Uesugi, K. Okada, K. Masu, H. Nakase, K. Tsubouchi, A. Oki, and Y. Horiike, "RF propagation characteristics and pH measurement for in vivo wireless healthcare chip," Extended abst. of 2003 Int. Conf. Solid State Devices and Materials (SSDM2003), pp. 366-367, Sept. 2003.
- [6] A. Yamaguchi, J. Takagi, H. Oguma, S. -K. Kim, S. Kameda, H. Nakase, Y. Isota, and K. Tsubouchi, "Packet SS-CDMA modem with carrier frequency offset compensation," Proc. 14th IEEE Int. Symp. Personal, Indoor and Mobile Radio Commun. (PIMRC 2003), Beijing, China, WA09-2, Sept. 2003.
- [7] K. Uehara, C. -M. Yang, T. Furusho, S.-K. Kim, S. Kameda, H. Nakase, S. Nishino, and K. Tsubouchi, "AlN epitaxial film on 6H-SiC(0001) using MOCVD for GHz-band SAW devices," IEEE Ultrason. Symp. Proc., Hawaii, 5I-3, Oct. 2003.
- [8] C.-M. Yang, K. Uehara, S.-K. Kim, S. Kameda, H. Nakase, and K. Tsubouchi, "Highly c-axis-oriented AlN film using MOCVD for 5GHz-band FBAR filter," IEEE Ultrason. Symp. Proc., Hawaii, 4B-3, Oct. 2003.
- [9] S. Kameda, S. -K. Kim, H. Nakase, and K. Tsubouchi, "Ubiquitous network," Second Int. Symp. on Acoustic Wave Devices for Future Mobile Commun. Systems, pp. 9-14, Chiba, Japan, March 2004 (invited).

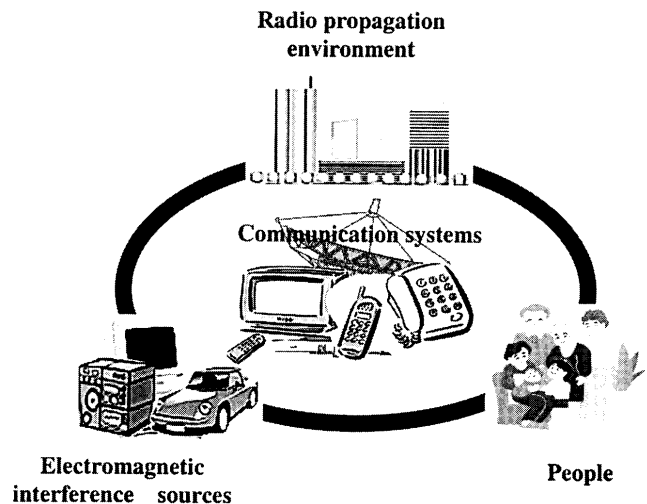
通信環境工学研究分野

次世代情報通信を支える電磁環境の構築

1. 分野の目標

携帯電話の普及に加え、高度交通システム（ITS）やホームネットワークなどの新たな通信システムの導入により小型無線機器は今後も増え続ける。また、コンピュータなどの電子機器も日常生活に氾濫し、そのクロック周波数は既にGHz帯に達している。このような環境では、通信機器や電子機器相互の電磁的干渉による様々な障害や、人体に対する影響が懸念される。このため、電子機器が発生する不要な電磁波を低減し、かつ無線機の電磁波によって電子機器が誤動作等の障害を発生しないようにしなければならない。さらに、超高速・高信頼性の通信を確保するには、通信機器から発射される電磁波の伝搬環境にも対策を施し、良好な情報伝送路を構築することも重要である。

本研究分野は、電子機器の不要電磁波に関する計測技術の研究と国際標準化、通信システムと電子機器間の相互干渉に関する研究と対策技術、さらに将来の電磁波利用に適した電波伝搬環境の構築を目的とする。



<研究テーマ>

1. 不要電磁波の計測技術の研究と標準化
2. 不要電磁波によって生じる障害の研究
3. 電子機器の不要電磁波対策技術の研究
4. 電磁波利用環境の構築技術の研究
5. 電磁波利用環境の構築に必要な材料・部品の研究

2. 過去1年間（2003年4月から2004年3月まで）の主な成果

(1) 電磁妨害波計測に用いるアンテナ特性の校正法

電磁妨害波用アンテナの感度を校正する際に問題となる、大地反射の影響を除去する方法について検討した。アンテナインピーダンスのアンテナ地上高依存性の測定値から、大地反射の影響を除去する方法を新たに開発した。VHF帯からマイクロ波帯までの周波数範囲にわたって、自由空間におけるアンテナ特性を極めて高精度に測定できることを実証した。

(2) 電源線伝導雑音の測定とフェライトコアによる雑音低減効果の研究

近年検討が進められている電力線通信システムに起因する電磁干渉量の評価を目指して、電源線伝導雑音を高精度で計測できるシステムを開発した。また、電源線の伝導雑音を阻止する目的で使用されるフェライトコアの評価基準を確立し、フェライトコアを実装するための設計指針を示した。

(3) 近距離無線通信システムに対する人工雑音の影響の検討

近年普及の著しい無線LANシステムは、家庭用電子レンジを代表とする産業医科学機器と同一周波数帯を利用している。これらの機器からの電磁雑音による干渉を表現する新たなモデルを構築し、各種無線LAN方式への影響を理論・実験的に検討した。また、無線LAN端末に近接して使用される、パーソナルコンピュータからの放射雑音の詳細な評価を行い、クロック信号の高調波による無線LANシステムへの干渉の可能性を示した。

<職員名>

教授：杉浦 行（1999年より）

助教授：松本 泰（2000年より）

助手：藤井勝巳（2001年より）

<教授のプロフィール>

1966年福井大学工学部応用物理学卒業。1968年大阪大学大学院修士課程修了。同年郵政省電波研究所（現情報通信研究機構）入所。電磁環境工学の研究に従事。同研究所総合研究官を経て1999年より東北大学電気通信研究所教授。電子情報通信学会，電気学会，映像情報メディア学会，IEEE会員。

<主な発表論文，解説記事，著書>

- (1) T. Murakami, Y. Matsumoto, A. Sugiura, Y. Yamanaka "Effects of Multi-path Propagation on Microwave Oven Interference in Wireless Systems," 2003 IEEE Int'l Symposium on EMC, WE-A-P1.7, May 2003
- (2) S. Kaketa, K. Fujii, A. Sugiura, Y. Matsumoto, Y. Yamanaka "A Novel method for EMI antenna calibration on a metal ground plane," 2003 IEEE Int'l Symposium on EMC, MO-A-P1.8, May 2003.
- (3) 藤井勝巳，高島誠，岩崎俊，松本泰，杉浦行，"ダブルギャップシールドループアンテナの磁界複素アンテナ係数の決定" 電子情報通信学会論文誌 vol. J-86-B, no. 7, pp.1096-1102, July 2003。
- (4) Y. Matsumoto, M. Takeuchi, K. Fujii, A. Sugiura, and Y. Yamanaka, "A Time-Domain Microwave Oven Noise Model for the 2.4 GHz Band," IEEE Trans. EMC, vol.45, no.3, pp. 561-566, Aug. 2003.
- (5) T. Murakami, Y. Matsumoto, K. Fujii, A. Sugiura, Y. Yamanaka, "Propagation Characteristics of the Microwave Oven Noise Interfering with Wireless Systems in the 2.4GHz Band," IEEE 2003 Int'l Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, pp.2726-2729, Sept. 2003.
- (6) Y. Dowaki, Y. Jito, K. Fujii, Y. Matsumoto, A. Sugiura, "Effectiveness of ferrite clamps for reducing common-mode noises," Int'l Symposium on Electromagnetic Compatibility and Electromagnetic Ecology, pp. 448-451, Sept. 2003.
- (7) J. Urabe, K. Fujii, Y. Matsumoto, A. Sugiura, "Measurement of power line noises emitted by electronic equipment," Int'l Symposium on Electromagnetic Compatibility and Electromagnetic Ecology, pp. 303-306, Sept. 2003.
- (8) K. Fujii, S. Harada, T. Umeda, Y. Matsumoto, A. Sugiura, "Estimation of the Free-Space Antenna Factors Using a Nonlinear Least Squares Method," 2003 Int'l Conference on Electromagnetics in Advanced Applications, pp. 259-262, Sept. 2003.
- (9) Y. Matsumoto, T. Umeda, A. Nishikata, K. Fujii, Y. Yamanaka, and A. Sugiura "EMI Antenna Calibration on an Absorber-Lined Ground Plane to Determine Free-Space Antenna Factor," IEEE Trans. EMC, vol. 45, no. 4, pp. 656-660, Nov. 2003.
- (10) S. Kaketa, K. Fujii, A. Sugiura, Y. Matsumoto, Y. Yamanaka, "EMI Antenna Calibration on using the Antenna Impedance Measurement," Int'l Symposium on Antennas Propagation and EM Theory, pp. 792-795, Nov. 2003.

量子波動工学研究分野

SNDMと電子線ホログラフィーを用いた MONOS型Flashメモリの研究

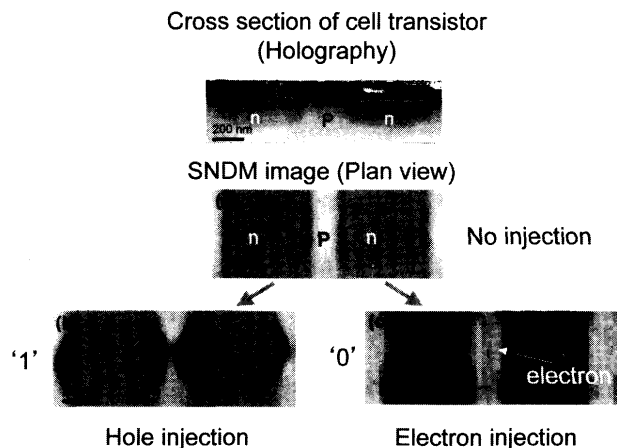


図 MONOS型FlashメモリのONO膜中に蓄積された電子とホールのSNDM像と電子線ホログラフィーにより視覚化されたソース/ドレイン

研究分野の目標

従来の電子デバイス（特に半導体メモリ）の集積度の飛躍的な向上を目指し、トランジスタのドレイン構造の最適化と記憶蓄積方法の高性能化を進める。そのための新しいデバイス解析方法を検討する。本年度は特に進展が目覚ましいFlashメモリに着目し新しい解析手法を追及する。

主な成果

Flashメモリの高性能化のため、フォノンデバイス工学と共同でSNDMと電子線ホログラフィーを用いたドレイン構造および蓄積電荷の評価方法を検討した。

その結果、SNDMによりONO膜を電荷蓄積に用いた「MONOS型Flashメモリ」中の、電子とホールの視覚化に成功した。これによりONO膜中の電荷の局在位置を明らかにし、記憶の書き込み-消去の、いわゆるサイクリング特性との関係を把握した。またドレイン部分のホログラフィー観察にも成功した。

FlashメモリはセルTrの一部に電荷を蓄積することで記憶を保持する。Floating Gate (FG) 型と呼ばれる通常型では、Word lineに対応するControl gateと、電荷を蓄積するFloating Gateを有する。一方、現在注目されているMONOS型ではONO膜で構成されたTrのゲート膜に電荷を蓄積する。この方法では1Trに2ビット分の記憶保持が可能となる。更にFGを持たないため製造工程が短縮され、高集積化とコストダウンが同時に達成される。

ところでFlashメモリにおいて記憶の書き込み-消去は電荷の出し入れによって行われる。MONOS型の場合には書き込みは電子の注入により、消去はホールの注入により行われる。したがってデバイス動作を解析し、高性能かつ高信頼性を図るには、デバイス特性を左右する電荷の振舞いを明らかにすることが必須である。しかしな

がら注入した電荷蓄積位置もシミュレーションを除いては報告がなかった。今年度はSNDMを用いることでこの電荷の蓄積位置を明らかにした。

セルTrのONO膜中にホールが存在する場合、ソース（ドレイン）領域からチャネル領域に電子が供給され反転層が形成される。逆に電子が存在する場合にはホールが基板から誘起され蓄積層が形成される。同時に、ONO膜中の電荷とチャネル領域の電荷との間で、それぞれ電子-ホールの対が形成される。各々の場合、SNDMでONO膜の電荷蓄積位置を走査すると、外部から印加される電界に対して容量の変化率が逆符合となるため、互いに逆のコントラストとなる。このことにより図に示すように蓄積電荷の視覚化が可能となる。

このSNDMによる視覚化方法の結果、電子は主として窒化膜中に存在し、一方ホールは窒化膜と酸化膜の両方に存在することがわかった。これは、電子はチャネルホットエレクトロンで注入され、高運動エネルギーを持つが、ホールはバンド間のトンネルで注入されるため運動エネルギーの分布が低めで広く分布するためであると解釈される。

またFlashメモリの信頼性上で重要である書き込み-消去サイクリング中の電荷の振舞いに関しても新しい知見が得られた。すなわち電子-ホール注入のサイクリング中に電荷の大多数は再結合する。両電荷が窒化膜-酸化膜中に空間電荷として分布する。サイクリングを繰り返すごとに残留電荷数は増える。消去直後は電子とホールが空間的に共存、時間とともに近接した電子とホールは再結合して消滅する。再結合後は互いに分離して存在し、電子は主として窒化膜へ、ホールは酸化膜中へ分離して蓄積する。これらは電氣的に中和しているだけであることがわかった。

<職員> 客員教授 本田耕一郎（2003年4月より）

<教授のプロフィール>

1951年兵庫県生まれ。1974年東京工業大学理学部卒業。1977年東北大学大学院理学研究科（物理学専攻）博士後期課程中途退学。同年株式会社富士通研究所入社。Si結晶の物性、Si中の重金属のMOSデバイス特性に及ぼす影響に関する研究、半導体/強誘電体メモリ、電子線ホログラフィー（透過型電子顕微鏡）、走査型プローブ顕微鏡を用いた強誘電体ならびに磁性デバイスの研究に従事。現在に至る。

<2003年度発表論文>

- (1) Self-Assembled PbTiO₃ Nano-Islands Prepared on SrTiO₃ by Metalorganic Chemical Vapor Deposition, Hajime Nonomura, Hironori Fujisawa, Masaru Shimizu, Hirohiko Niu and Koichiro Honda, Jpn. J. Appl. Phys., 42 (2003) 5918-5921.
- (2) Ferroelectric Properties of 15-20nm-Thick PZT Ultrathin Films Prepared by MOCVD, H. Nonomura, H. Fujisawa, M. Shimizu, H. Niu and K. Honda, Mater. Res. Soc. Symp. Proc., 748, pp.255-260 (November 29 - December 3, Boston, Massachusetts, U.S.A., 2002).
- (3) Self-Assembled PbTiO₃ Nanoislands Prepared by MOCVD, M. Shimizu, H. Nonomura, H. Fujisawa, H. Niu and K. Honda, Integrated ferroelectrics (2004) (in press).